

Analisa *Heat Loss* pada Pipa dari Demister Ke Turbin pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Lahendong Unit-2

*) Teshalonikha Gabriel Iglesia Miranda Saburu, Satyano W. Mongan, dan Jeferson Polii

Prodi Fisika FMIPA, Universitas Negeri Manado, Tondano, 95619, Indonesia

*e-mail: tteshaecha88@gmail.com

Diterima 3 Oktober 2022; Disetujui 17 Oktober 2022

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) di Lahendong merupakan unit pembangkit listrik terbesar dengan energi yang ramah lingkungan, dengan sumber daya panas bumi di Sulawesi Utara. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) di Lahendong unit-2 terdapat komponen yang penting digunakan untuk mengubah uap menjadi listrik. Komponen tersebut antara lain demister, turbin, kondensor, generator, cooling tower, sumur injeksi, dan juga alat penukar kalor. Salah satu pipa yang penting dalam jalur Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) adalah pipa antara demister ke turbin. Dalam pengaliran uap pada pipa unit-2 dari demister ke turbin bisa jadi mengalami hilang panas alamiah (*heat loss*) pada saat pengaliran uap. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui berapa besarnya *heat loss* pada pipa dari demister ke turbin pada PLTP Lahendong unit-2. Penelitian ini menggunakan aplikasi steam table dan microsoft excel. Pada penelitian ini, hasil dari perhitungan *heat loss* sepanjang pipa dari demister ke turbin pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Lahendong Unit-2 adalah sebesar 446569,9 kJ/s.

Kata kunci: Heat Loss, Demister, Turbin

ABSTRACT

Geothermal Power Plant in Lahendong is the largest power plant unit with environmentally friendly energy, with geothermal resources in North Sulawesi. At the Geothermal Power Plant in Lahendong unit-2, there are important components used to convert steam into electricity. These components include a demister, turbine, condenser, generator, cooling tower, injection well, and also a heat exchanger. One of the important pipes in the line of the Geothermal Power Plant is the pipe between the demister to the turbine. In the flow of steam in the unit-2 pipe from the demister to the turbine, it may experience heat loss during steam flow. The purpose of this study was to determine the amount of heat loss in the pipe from the demister to the turbine at Geothermal Power Plant Lahendong unit-2. This research uses the Steam Table application and Microsoft Excel. In this study, the results of the calculation of heat loss along the pipe from the demister to the turbine at the Lahendong Unit-2 Geothermal Power Plant amounted to 446569.9 kJ/s.

Keywords: Heat Loss, Demister, Turbine

1. PENDAHULUAN

Indonesia berada pada zona subtitusi atau yang sering disebut dengan *Ring of Fire*, yang pada kenyataannya Indonesia memiliki begitu banyak gunung berapi yang menandakan begitu besar potensi panas bumi yang ada di Indonesia. Potensi panas bumi di Indonesia yang dikelola baru 4% dari jumlah potensi yang ada.

Seperti di Italy, merupakan negara yang pertama yang telah menggunakan energi panas bumi yang lebih khusus menggunakan uap panas bumi untuk digunakan sebagai pembangkit listrik. Sumur lapangan yang berada di Italy menghasilkan uap kering (*dry steam*) mempunyai temperatur tinggi yang sangat baik digunakan untuk pembangkit listrik.

Produksi listrik dari lapangan panas bumi di Lahendong telah dikelola sejak tahun 2001 sampai 28 Juli 2016, Lapangan panas bumi

di Lahendong terdiri atas 10 klaster dengan mempunyai total 36 sumur dan telah menghasilkan tenaga listrik sebesar 80MW dan telah memasok 40% kebutuhan energi di Sulawesi Utara.

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) di Lahendong Unit 2 terdapat komponen yang penting digunakan untuk mengubah uap menjadi listrik. Komponen tersebut antara lain demister, turbin, kondensor, generator, cooling tower, sumur injeksi, dan juga alat penukar kalor.

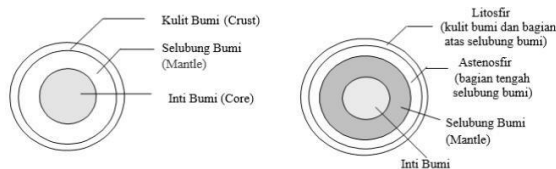
Salah satu pipa yang penting dalam jalur Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) adalah pipa antara dari demister dan turbin. Pipa-pipa ini bertugas untuk mengalirkan uap dari demister sampai ke turbin yang akan memutar generator untuk menghasilkan listrik. Dalam pengaliran uap pada pipa unit-2 dari demister ke turbin bisa jadi mengalami hilang

panas alamiah pada saat pengaliran uap. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui berapa besar *heat loss* pada pipa dari demister ke turbin jauh.

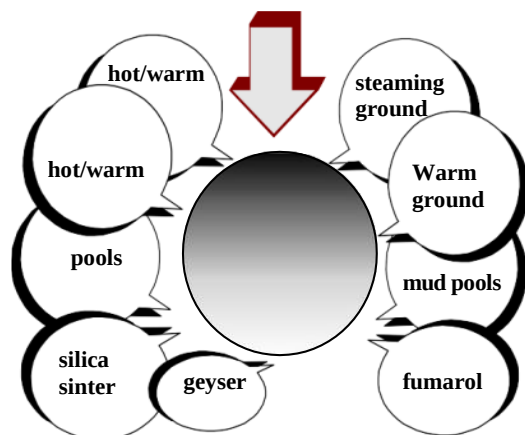
2. KAJIAN TEORI

Sistem Panas Bumi

Secara garis besar bumi ini terdiri dari tiga lapisan utama, yaitu kulit bumi (*crust*), selubung bumi (*mantle*) dan inti bumi (*core*). Kulit bumi adalah bagian terluar dari bumi. Ketebalan dari kulit bumi bervariasi, tetapi umumnya kulit bumi di bawah suatu daratan (*continent*) lebih tebal dari yang terdapat di bawah suatu lautan. Di bawah suatu daratan ketebalan kulit bumi umumnya sekitar 35 kilometer sedangkan di bawah lautan hanya sekitar 5 kilometer. Batuan yang terdapat pada lapisan ini adalah batuan keras yang mempunyai density sekitar 2.7 - 3 gr/cm³. (Saptadji, 2001) Indeks Vegetasi Manifestasi panas bumi dipermukaan diperkirakan terjadi karena adanya perambatan panas dari bawah permukaan.



Gambar 1. Susunan Lapisan Bumi



Gambar 2. Jenis-jenis Manifestasi Permukaan

Tanah Hangat (Warm Ground)

Tanah hangat umumnya terjadi di atas tempat terdapat sumber daya panas bumi atau di daerah sekitarnya dimana terdapat manifestasi panas bumi lainnya yang memancarkan panas lebih kuat, misalnya disekitar daerah dimana ada uap panas keluar dari tanah atau steaming ground atau daerah sekitar kolam air panas.

Permukaan Tanah Beruap (Steaming Ground)

Dibeberapa daerah terdapat tempat-tempat dimana uap panas (*steam*) nampak keluar dari permukaan tanah. Jenis manifestasi panas bumi ini disebut steaming ground. Besarnya temperatur di permukaan sangat tergantung dari laju aliran uap (*steam flux*). Umumnya intensitas panas di daerah steaming ground diperkirakan dari besarnya gradien temperatur.

Pemetaan temperatur dilakukan dengan cara membagi daerah tersebut menjadi sejumlah blok berukuran sama, di mana jarak antara satu tempat pengukuran ke tempat pengukuran lainnya (titik pusat blok) berjarak sekitar 20 meter. Untuk mengukur temperatur dapat digunakan bimetallic strip type thermometer. Apabila pengukuran temperatur dilakukan diseluruh daerah tersebut, peta temperatur dapat dibuat dengan skala yang umum digunakan yaitu 1:200 atau 1:100 dan kemudian besarnya kehilangan panas (*heat loss*) dapat dihitung.

Mata Air Panas atau Hangat (Hot or Warm Spring)

Mata air panas/hangat juga merupakan salah satu petunjuk adanya sumber daya Panas bumi di bawah permukaan. Mata air panas/hangat ini terbentuk karena adanya aliran air panas/hangat dari bawah permukaan melalui rekahan-rekahan batuan. Istilah “hangat” digunakan bila temperatur air lebih kecil dari 50°C dan istilah “panas” digunakan bila temperatur air lebih besar dari 50°C.

Kolam Air Panas (Hot Pools)

Adanya kolam air panas di alam juga merupakan salah satu petunjuk adanya sumber daya Panas bumi di bawah permukaan. Kolam air panas ini terbentuk karena adanya aliran air panas dari bawah permukaan melalui rekahan-rekahan batuan.

Telaga Air Panas (Hot Lakes)

Telaga air panas pada dasarnya juga kolam air panas, tetapi lebih tepat dikatakan telaga karena luasnya daerah permukaan air. Umumnya istilah telaga dipakai bila luas permukaannya lebih dari 100 m². Telaga air panas sangat jarang terdapat di alam karena telaga air panas terjadi karena hydrothermal eruption yang sangat besar. Contohnya adalah danau Waimangu di New Zealand.

Fumarol

Fumarol adalah lubang kecil yang memancarkan nap panas kering (*dry steam*) atau uap panas yang mengandung butiran-butiran air (*wet steam*).

Geyser

Geyser didefinisikan sebagai mata air panas yang menyembur ke udara secara intermitent (pada selang waktu tak tentu) dengan ketinggian air sangat beraneka ragam, yaitu dari kurang dari satu meter hingga ratusan meter.

Kubangan Lumpur Panas (*Mud Pools*)

Kubangan lumpur panas juga merupakan salah satu manifestasi Panas bumi di permukaan. Kubangan lumpur panas umumnya mengandung non-condensable gas (CO₂) dengan sejumlah kecil uap panas.

Silika Sinter

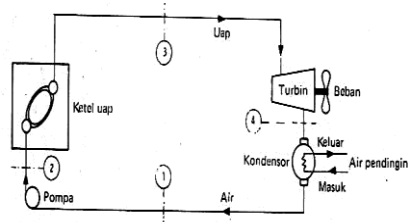
Silika sinter adalah endapan silika di permukaan yang berwarna keperakan. Umumnya dijumpai disekitar mata air panas dan lubang geyser yang menyemburkan air yang bersifat netral.

Batuan Yang Mengalami Alterasi

Alterasi hidrothermal merupakan proses yang terjadi akibat adanya reaksi antara batuan asal dengan fluida Panas bumi. Batuan hasil alterasi hidrothermal tergantung pada beberapa faktor, tetapi yang utama adalah temperatur, tekanan, jenis batuan asal, komposisi fluida (hususnya pH) dan lamanya reaksi.

Fasilitas Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

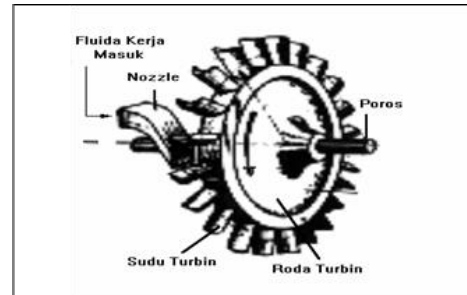
Pembangkit Listrik Tenaga Panas bumi (PLTP) pada prinsipnya sama seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), hanya pada PLTU uap dibuat di permukaan menggunakan boiler, sedangkan pada PLTP uap berasal dari reservoir Panas bumi.



Gambar 3. Skema Fasilitas Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Turbin

Turbin adalah suatu mesin penggerak dimana energi fluida kerja, dalam hal ini adalah uap, dipergunakan langsung untuk memutar roda turbin. Bagian turbin yang berputar dinamakan roda turbin. Roda turbin ini terletak didalam rumah turbin.



Gambar 4. Roda dan Sudu Turbin Uap

Condenser

Fungsi dari kondenser adalah untuk menciptakan tekanan vakum (tekanan dibawah tekanan atmosfer). Proses terjadinya kondisi vakum ini adalah secara termodinamik dan bukan secara mekanik.

Gas Exhauster

Untuk menjaga agar kondisi di condenser tetap vakum, maka on condensable gas harus dikeluarkan dari condenser.

Sistem Pendingin

Cukup banyak air pendingin yang dibutuhkan oleh kondenser. Air dapat berasal dari air sungai, namun sungai-sungai yang terdapat tidak jauh dari lapangan Panas bumi umumnya tidak cukup besar untuk menyerap panas.

Mechanical Draft Cooling Tower

Pada mechanical draft cooling tower air panas dari kondensor disemprotkan pada struktur kayu yang berlapis-lapis yang disebut fill.

Natural Draught Cooling Towers

Natural Draught Cooling Tower bekerja dengan prinsip yang sama dengan mechanical draft cooling tower, kecuali disini aliran udara pendingin tidak berasal dari fan, tapi dikarenakan bentuk dan tingginya cooling tower. Aliran bisa diatur searah maupun berlawanan arah..

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Lahendong

Berdasarkan studi mengenai model konsepsi reservoir, diketahui bahwa reservoir Panas bumi Lahendong terdiri dari 2 (dua) blok reservoir yaitu Blok Lengkoan dan Blok Lahendong – Linau.

Blok Lengkoan, terdiri dari 2 (dua) buah reservoir yaitu reservoir dangkal pada kedalaman berkisar antara 300-600 meter dan reservoir dalam pada kedalaman di bawah 1000 meter, temperatur reservoir dalam $> 300^{\circ}\text{C}$, mempunyai fluida 2 (dua) fasa dengan tingkat kebasahan uap kurang dari 20%. Reservoir dalam digunakan untuk mensuplai uap PLTP I 20 MWe, sedangkan reservoir dangkal tidak dimanfaatkan karena mempunyai tekanan yang rendah.

Blok Lahendong – Linau, terdiri dari 2 (dua) buah reservoir yaitu reservoir dangkal pada kedalaman berkisar antara 300-500 meter dan reservoir dalam pada kedalaman di bawah 1000 meter, fluida reservoir dangkal pada bagian barat blok ini merupakan boiling zone yang mempunyai sifat sangat asam. Ke arah timur temperatur reservoir dalam semakin dingin. Sumur LHD-5 yang dibor dibagian timur blok ini membuktikan bahwa reservoir terisi oleh fluida single water dengan muka-air tanah di kedalaman ± 200 meter dan temperatur reservoir $\pm 260^{\circ}\text{C}$.

Hasil uji produksi memperlihatkan bahwa sumur LHD-5 pada TKS 8,5 barg menghasilkan 49 t/h uap dan 220 t/h air panas atau ekuivalen dengan 5 MWe. Berdasarkan kedalaman feed zone sumur LHD-5, kedalaman akhir sumur pengembangan di daerah ini diperkirakan mencapai 2300 meter.

Secara geologi, model sistem panas bumi di Lahendong dikontrol oleh struktur “caldera collapse” (kaldera pengolombian) serta pola struktur berarah Timur Laut-Barat Daya dan Barat Laut-Tenggara. Kombinasi struktur tersebut mengontrol penyebaran alterasi dan manifestasi termasuk pola pelamparan lapisan konduktif di daerah Lahendong. Luas wilayah kerja panas bumi Lahendong sebesar 106.800 Ha (1.068 km²) secara administratif meliputi Kabupaten Minahasa dan Kota Tomohon, dengan status lahan cagar alam (sekitar 0,78%), hutan lindung (sekitar 9%), hutan produksi terbatas (sekitar 0,8%) dan area penggunaan lain (sekitar 89%).

Project PLTP Lahendong Unit 5 & 6 dimulai pada September 2012 dengan

dilakukannya pengadaan lahan dan disusul dengan penandatanganan kontrak engineering, procurement, construction, commissioning (EPCC) PLTP Lahendong Unit 5 dan 6 berkapasitas 2x20 MW pada 01 Desember 2014. Commercial operation date (COD) PLTP Lahendong Unit-5 berhasil dimulai pada 15 September 2016, atau 107 tujuh hari lebih cepat dari perencanaan awal pada 26 Desember 2016. PLTP Lahendong Unit 5 dan 6 merupakan PLTP milik Pertamina Geothermal Energy yang ke-4 dan ke-5, yang dibangun dengan pola total project, setelah PLTP Kamojang Unit-4, Kamojang Unit-5, dan Ulubelu Unit-3.

Pipa Alir

Pipa alir di lapangan Panas bumi terdiri dari pipa alir uap, pipa alir air dan pipa alir uap-air apabila fluida dari sumur terdiri dari dua fasa. Di lapangan Panas bumi dominasi air, pipa alir dua fasa (campuran uap-air) dimulai dari sumur hingga ke separator, sedangkan pipa alir uap membentang dari separator hingga ke turbin dan pipa alir air dari membentang dari separator hingga ke sumur injeksi.

Pipa Alir Dua-Fasa

Di beberapa lapangan, misalnya di lapangan Awibengkong-Gn. Salak, jarak antara separator dengan kepala sumur sangat pendek sekali, sekitar 100-200 meter. Separator bisa saja didisain untuk memisahkan fasa uap dan air dari sejumlah sumur, seperti halnya di lapangan Ohaaki (NZ).

Pipa Alir Uap

Pipa alir uap umumnya relatif lebih panjang dari pipa alir dua fasa. Misalnya di lapangan Wairakei, panjang pipa ada yang sampai 5 km.

Heat Loss Pada Pipa

Untuk menghitung berapa besarnya *heat loss* pada pipa harus menggunakan rumus yang ada dibawah ini:

$$\dot{Q}_{loss} = \dot{m} c_{p_{total}} (T_{in} - T_{out}) \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{loss} = \dot{m} c_{p_{total}} (T_{in} - T_{out}) \quad (2)$$

Adapun nilai dari $\dot{Q}_{loss}$ adalah:

$$\dot{Q}_{loss} = \frac{(T_{in} - T_{ling})}{\frac{1}{A_i h_i} + \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi L K_{bahan}} + \frac{1}{A_o h_o}} \quad (3)$$

dengan:

$\dot{Q}_{loss}$ = kalor yang keluar

$\dot{m}$	= laju alir massa
T_{in}	= temperatur masuk
T_{out}	= temperatur keluar
T_{ling}	= temperatur lingkungan
$C_{p_{total}}$	= kapasitas panas total
A_0	= luas dalam pipa
A_i	= luas luar pipa
r_0	= jari-jari dinding dalam pipa
r_i	= jari-jari dinding luar pipa
h_0	= koefisien konduksi brine
h_i	= jari-jari dinding luar pipa
K_{bahan}	= konstanta bahan (pipa)

3. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Lahendong Unit-2.



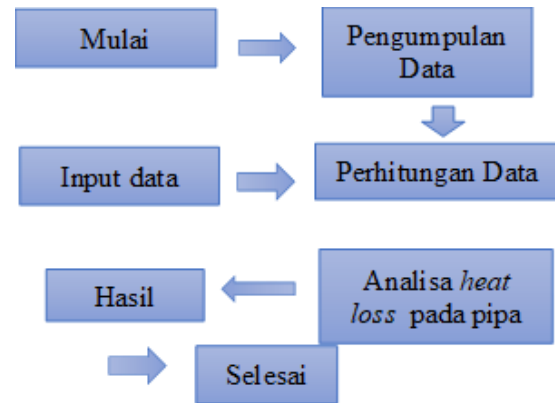
Gambar 5. Lokasi Penelitian PLTP Lahendong

Variabel Penelitian Dan Teknik Pengumpulan Data

Terdapat beberapa variabel dalam penelitian ini yaitu,

- Heat loss*
- Laju alir massa
- Temperatur fluida masuk
- Temperatur fluida keluar
- Temperatur lingkungan

Teknik Pengolahan Data Dan Anaisis Data



Gambar 6. Diagram Alir Teknik Pengolahan Data

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Untuk mencari nilai *heat loss* pada pipa demister sampai turbin. Data yang didapat untuk mencari *heat loss* merupakan data sekunder yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data sekunder yang didapat dari PLTP Lahendong

No.	Parameter Pengamatan	Hasil Pengukuran/ Pengamatan	Satuan
1.	Laju alir massa	150	Ton/jam
2.	Kapasitas Panas Total	52,5	J
3.	Temperatur masuk	175	$^{\circ}\text{C}$
4.	Temperatur lingkungan	30	$^{\circ}\text{C}$

Perhitungan *Heat Loss* Pada Pipa Dari Demister Ke Turbin

Penelitian ini akan membahas tentang hasil pengukuran, pengamatan lapangan dan hasil pengolahan data sesuai dengan variabel yang diteliti. Dalam penelitian ini, peneliti melakukan penelitian pada pipa dari demister menuju turbin di PLTP Lahendong Unit-2 Cluster 13.

Data yang diperoleh untuk penelitian ini dalam mencari nilai *heat loss* yaitu dengan menggunakan persamaan (3), untuk menghitung persamaan tersebut peneliti menggunakan bantuan dari software Microsoft Excel dengan cara memasukan data yang diperlukan.

Tabel 2. Data yang dihitung langsung dari Microsoft Excel

No.	Parameter pengamatan	Hasil pengukuran/ pengamatan	Satuan
1.	Panjang pipa (L)	61,755	m
2.	Jari-jari dinding dalam pipa (r_0)	0,2921	m
3.	Jari-jari dinding luar pipa (r_i)	0,3048	m
4.	Luas dalam pipa (A_0)	1,83439	m ²
5.	Luas luar pipa (A_i)	1,91414	m ²
6.	Temperatur keluar (T_{out})	174,539	°C
6.	Koefisien konveksi brine (h_0)	5000	W/(m ² .K)
7.	Koefisien konveksi udara (h_i)	12	W/(m ² .K)
8.	Koefisien konduksi bahan (K_{bahan})	30	J/msK

Setelah semua data telah didapatkan peneliti akan mencari *heat loss* dengan menggunakan persamaan (3). Maka hasil yang didapat:

$$\dot{Q}_{loss} = \frac{(175 - 30)}{\frac{1}{1,91414 * 12} + \frac{Ln(0,2921/0,3048)}{2\pi * 61,755 * 30} + \frac{1}{1,83439 * 5000}}$$

$$\dot{Q}_{loss} = 446569,9 \text{ kJ/s}$$

Setelah peneliti melakukan pengolahan data dari Microsoft Excel, nilai $\dot{Q}_{loss}$ telah didapatkan yaitu 446569,9 kJ/s.

Perhitungan Perkiraan Temperatur Masuk Pada Pipa Turbin

Untuk mencari perkiraan temperatur masuk kita harus menggunakan persamaan (2).

$$\dot{Q}_{loss} = \dot{m} c p_{total} (T_{in} - T_{out})$$

Selanjutnya menggunakan persamaan (4)

$$T_{out} = \frac{T_{in} - \dot{Q}_{loss}}{\dot{m} * C p_{total}} = 174,539$$

Setelah mendapatkan hasil ternyata ujung pipa dari demister yang masuk pada turbin adalah sebesar 174,539°C.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai “Analisa *Heat Loss* Pada Pipa Dari Demister ke Turbin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Lahendong Unit-2” disimpulkan bahwa

kehilangan panas (*heat loss*) pada pipa dari demister ke turbin pada pembangkit listrik tenaga panas bumi adalah sebesar 446569,9 kJ/s.

6. REFERENSI

- Bodvarsson G.S. and Whitherspoon P.A. (1989), *Geothermal Reservoir Engineering*, *Geotherm. Sci. & Tech.*, vol 2 (1) pp. 1-68.
- Mulyana, C, Aswad H. Saad, Nasrudin. (2014), Perhitungan *Heat Loss* pada pipa transmisi uap di PLTU Cilacap Ditjen EBTKE Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2012), Profil Potensi Panas Bumi Indonesia.
- Muntolib, dan Rusdiyantoro. (2014), Analisa Bahan Isolasi Pipa Saluran Uap Panas Pada Boiler Untuk Meninimalisir *Heat Loss*. Jurnal Teknik Waktu. Vol 12. No. 02.
- Rendra Wahyudityo, Andang Widi Harto, Kutut Suryopratomo. (2013), Analisis *Scaling Silika* pada pipa injeksi *Brine* dilapangan panas bumi Dieng dengan studi kasus di PT.Geo Dipa Energi.
- Russel James, *Heat Loss and Preassure-rop Balance For Geothermal Steam Transmission*.
- Saptadji N. M. (2001), Teknik Panas Bumi. Bandung: Institut Teknologi Bandung (ITB).
- Tafif Azimudin, Adi Pramono. (2001), Peluang Pengembangan PLTP Unit 2 Area EP Lahendong.